

産総研・物性研における レーザー開発の進捗状況 (ハイパワー化、波長変換)

東大物性研¹, 産総研², 茨城大³, 高エネ研⁴,
伊藤 功¹, 中村典雄¹, 吉富 大²,
鳥塚健二², 笠原 亮³, 本田洋介⁴

発表内容

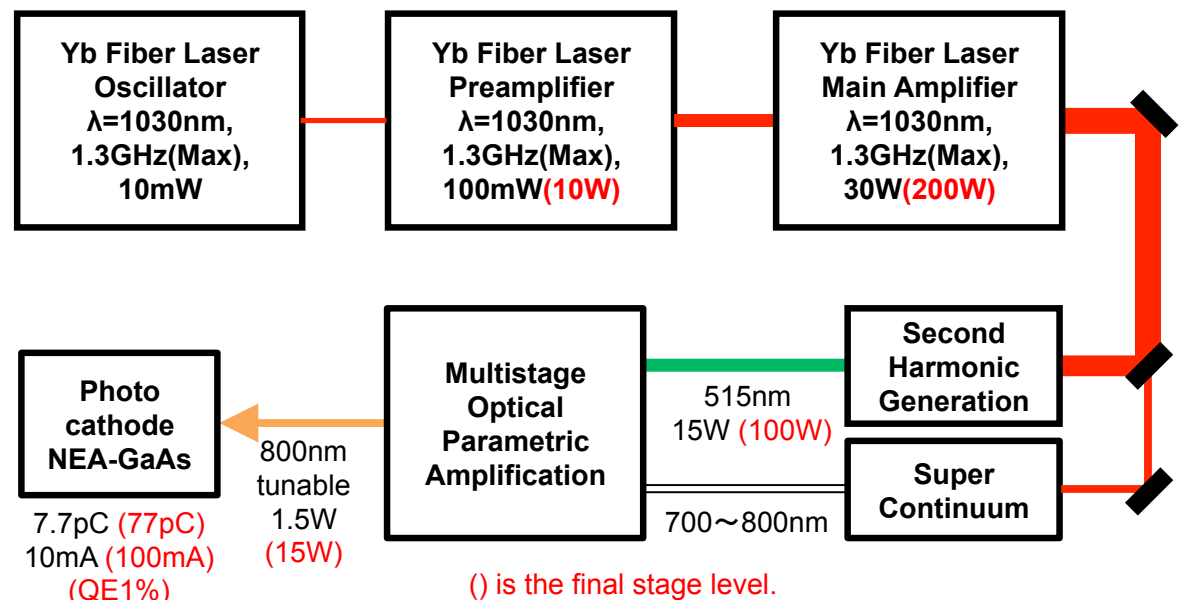
- レーザーシステムの概略
- レーザー開発のこれまでの経緯
- レーザー増幅器
- 第二高調波発生
- スーパーコンティニューム
- まとめと今後の課題

レーザーシステムの概要

ERL光陰極電子銃のために、高出力・高安定性が期待できるYbファイバーレーザーで高出力・高繰り返しのレーザーシステムを開発する。

要求仕様

- 波長: 800nm (可変)
- 平均出力: 15W
- パルス幅: 10-30ps
(立ち上がりが10ps以下の矩形波)
- 繰返し周波数: 1.3GHz
- 堅牢で高安定



レーザー開発のこれまでの経緯

2007.4 産総研とKEKとの間でERL電子銃励起用レーザーの共同開発の協定を締結。

川崎泰介氏(東大中村研)が当時存在しなかった1.3GHzのYbファイバーレーザー発振器の開発を開始。

外部共振器型のオシレータとリニアキャビティ型のオシレータを開発。(第30回ERL検討会)

2008.12 cERL入射部の設計・開発開始。

KEKにおいては、本田洋介氏(KEK)が製品ベースのレーザーシステムを開発。

電子銃開発に対して柔軟に対応。(第41回ERL検討会)。

2009.4 川崎から伊藤に交代(物性研と産総研との間で共同研究の協定を締結)。

ERL実機を念頭においたレーザーシステムの開発を継続。

(1)ホワイトボックスなレーザー発振器、(2)ハイパワーアンプ、(3)高効率のSHG(500nm)、

(4)SC+OPAによる500nm=>800nm波長変換。

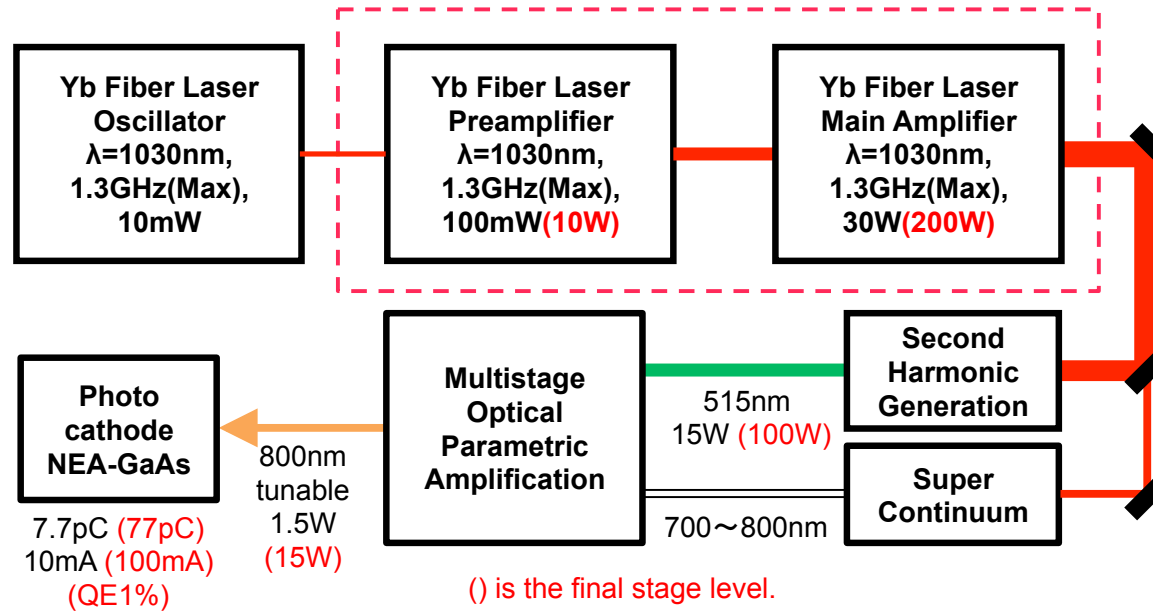
吉富大氏(産総研)と共同で、本田氏と密に連携を取りながら開発を進めている。

2010.3 10Wの増幅器。約50%の第二高調波発生に成功。(第42回ERL検討会)

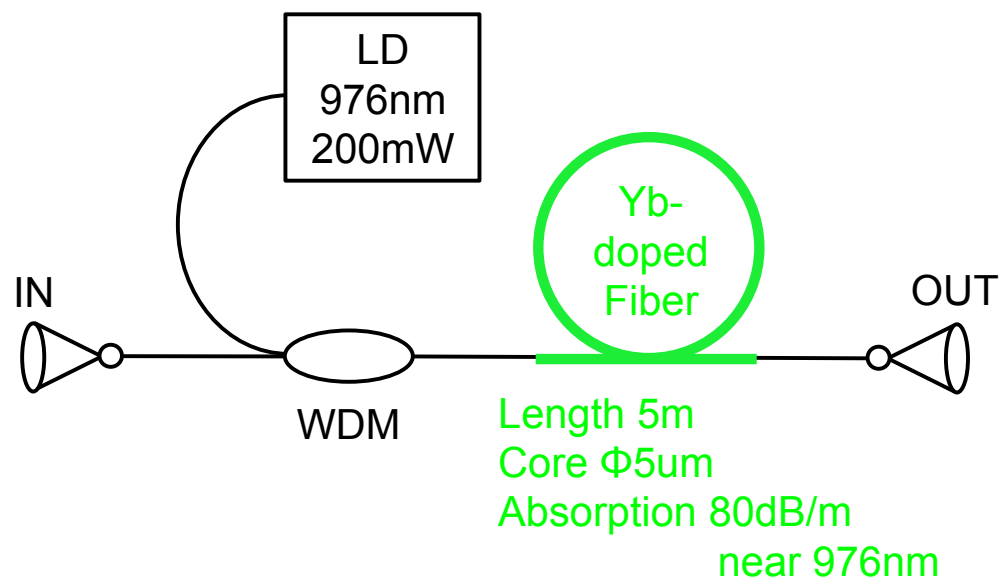
2010.8 笠原亮氏(茨城大)が加入。主にレーザー発振器の開発に携わる。

2011.5 30Wの増幅器、スーパーコンティニュームによる800±40nmの広帯域パルス光の発生に成功。

レーザー増幅器

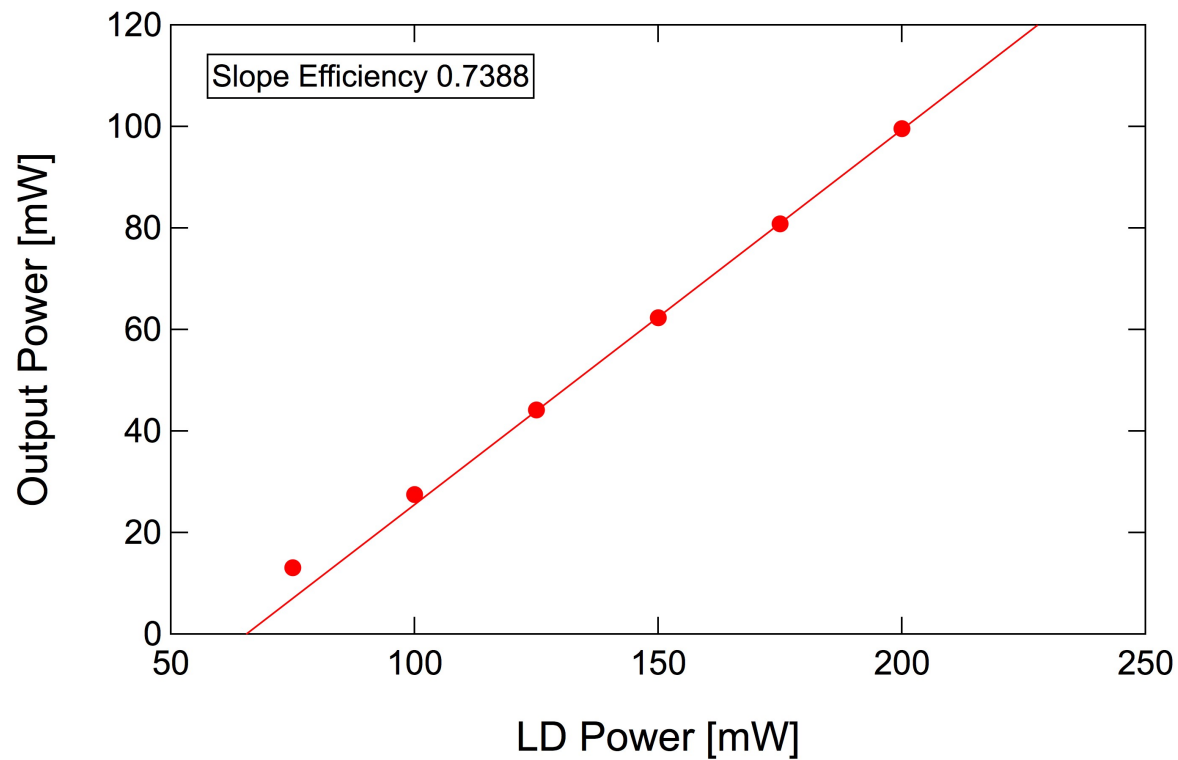


Ybファイバーレーザー前置増幅器



前置増幅器の増幅効率

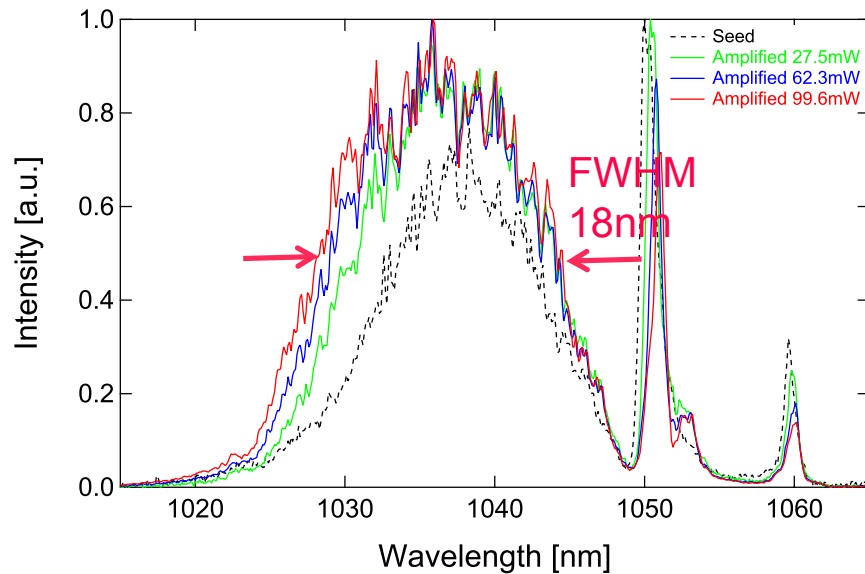
繰り返し85MHz,出力10mWのシード光を増幅。



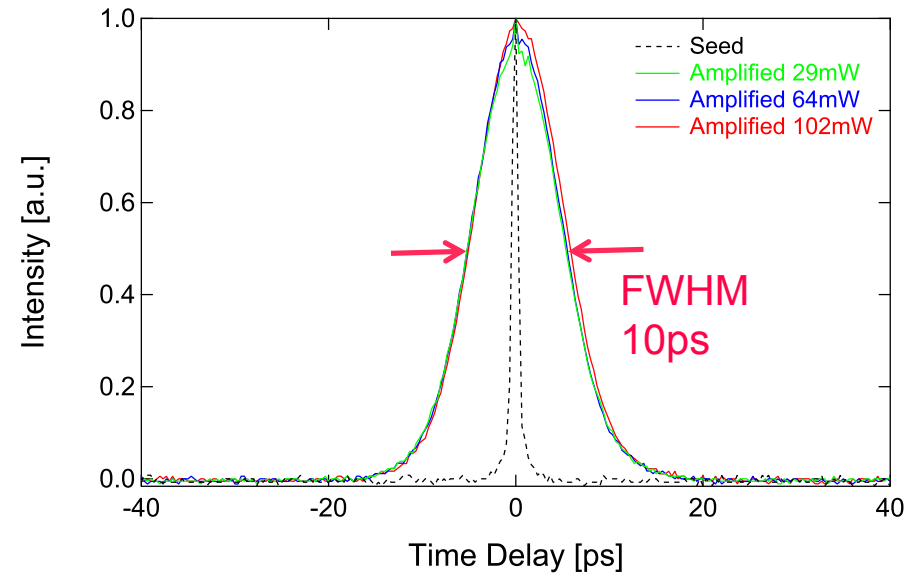
最大100mWまで増幅できた。

増幅光の特性評価

増幅光の光スペクトル

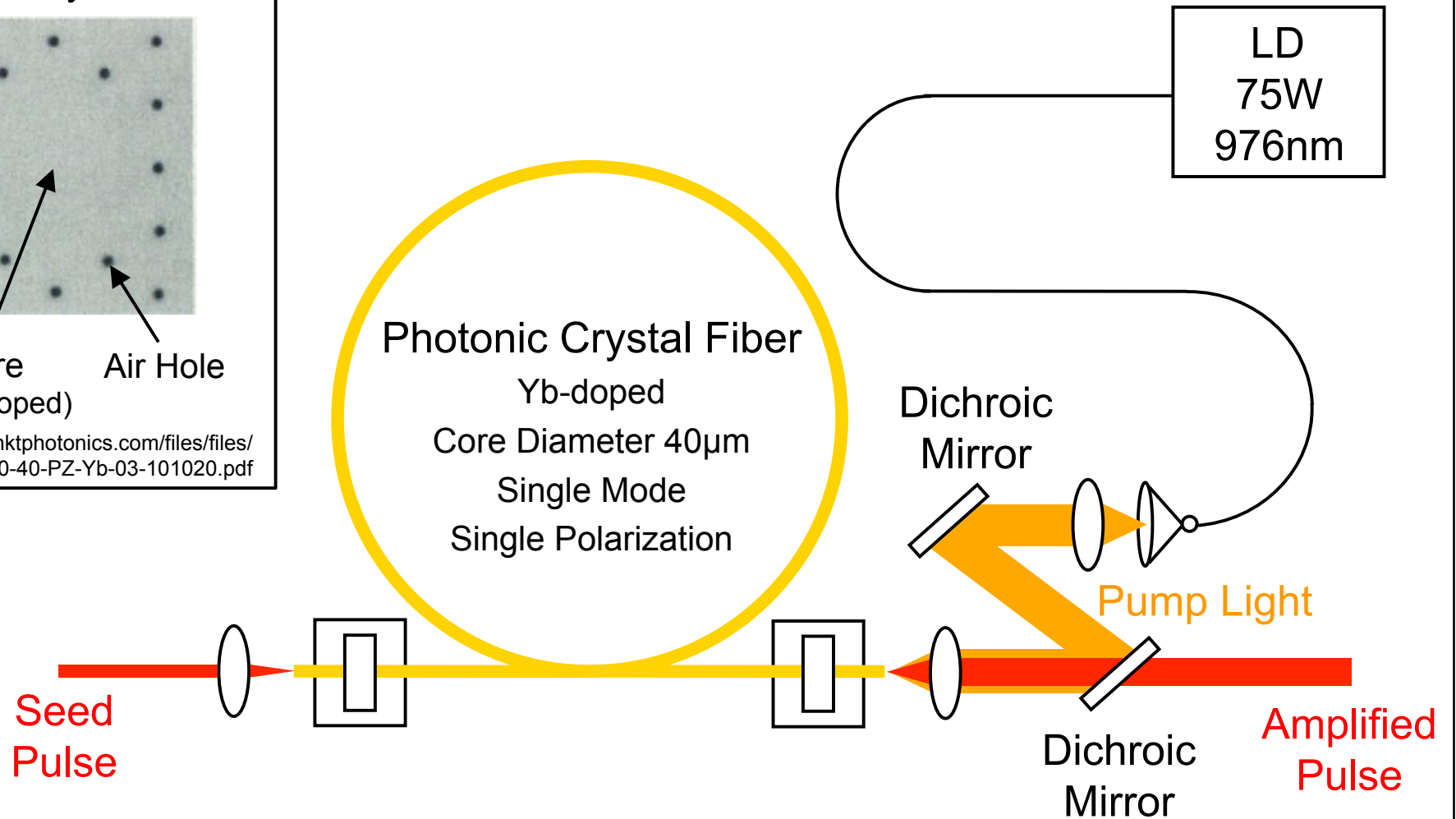
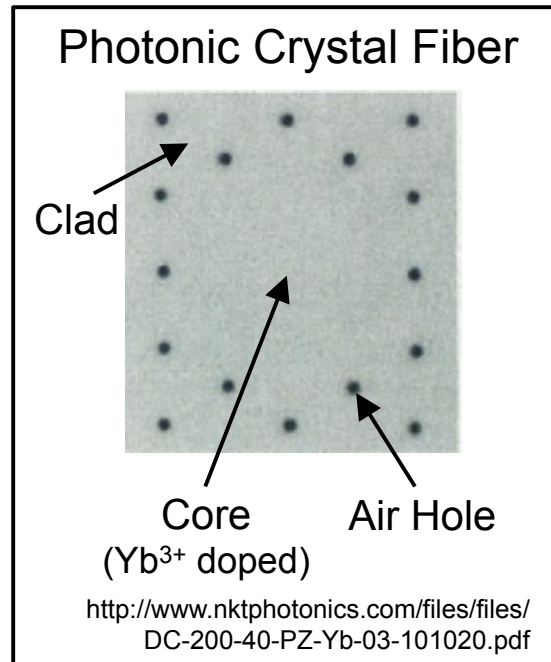


増幅光の自己相関波形

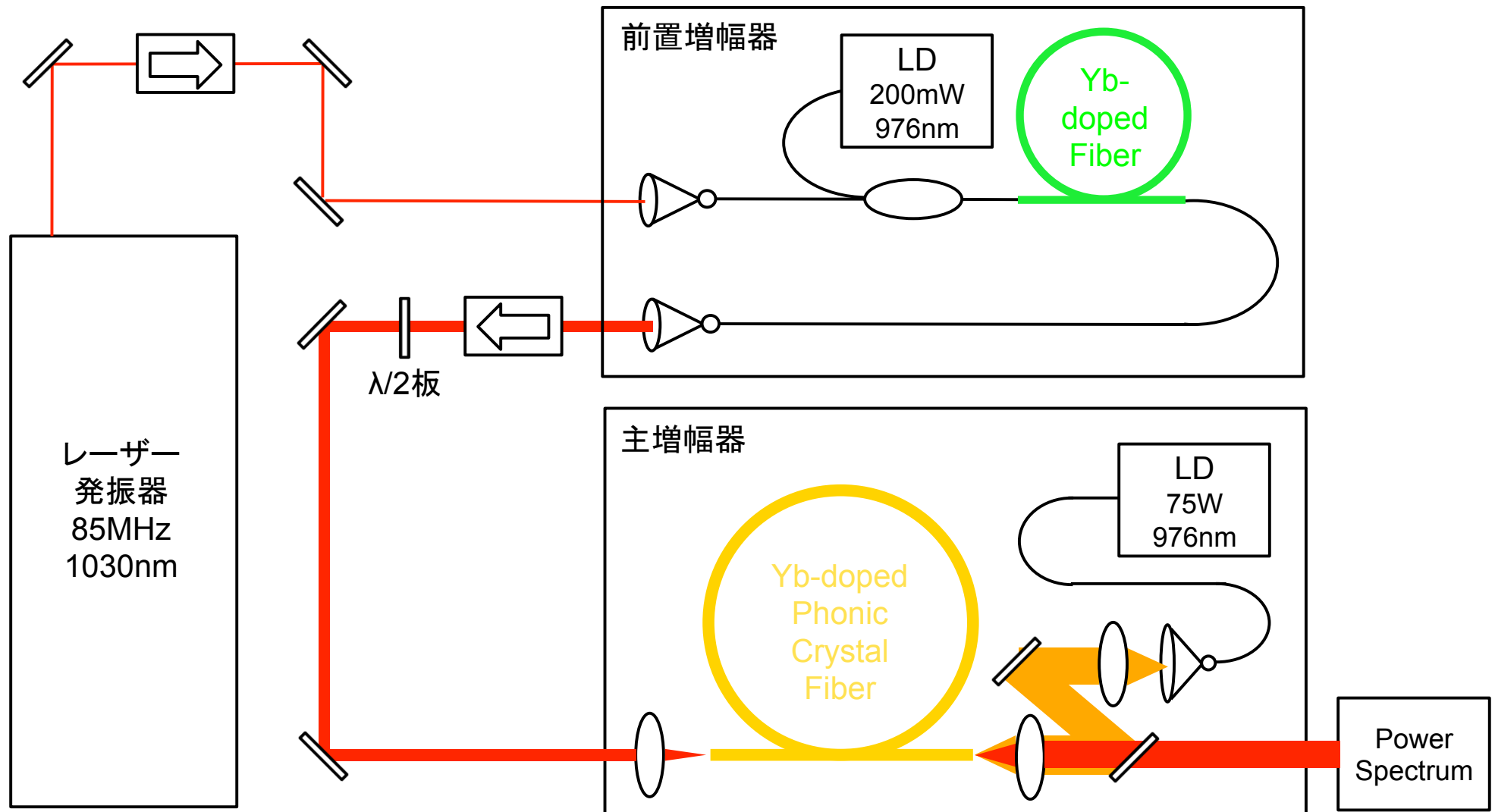


増幅に伴うバンド幅・パルス幅の増大はなく、自己位相変調の影響は小さい。シード光と増幅光のパルス幅の違いはファイバーの分散によるもの。

Ybファイバーレーザー主増幅器

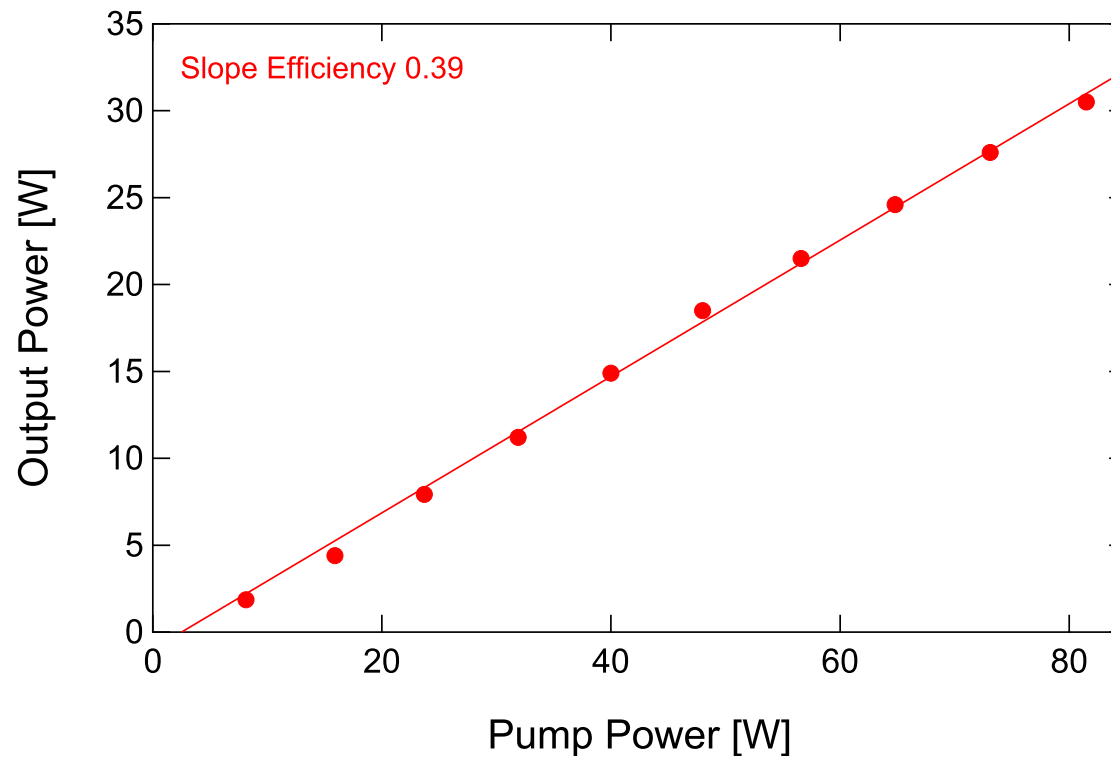


Ybファイバーレーザー主増幅器



主増幅器の増幅効率

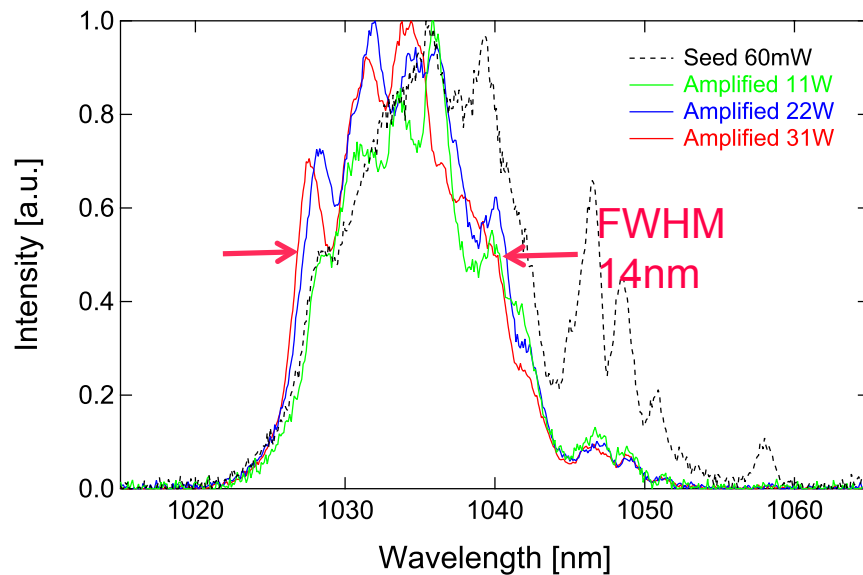
基本光($f_{\text{rep}}=85\text{MHz}$, $\Delta t=7\text{ps}$, $\Delta\lambda=10\text{nm}$, $P=60\text{mW}$)を増幅。



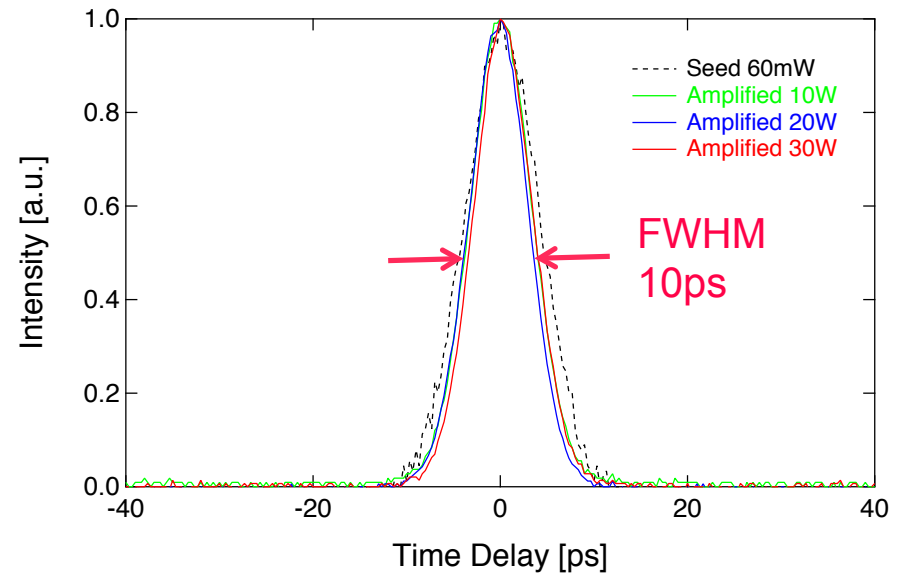
最大31Wまで増幅できた。

増幅光の特性評価

光スペクトル

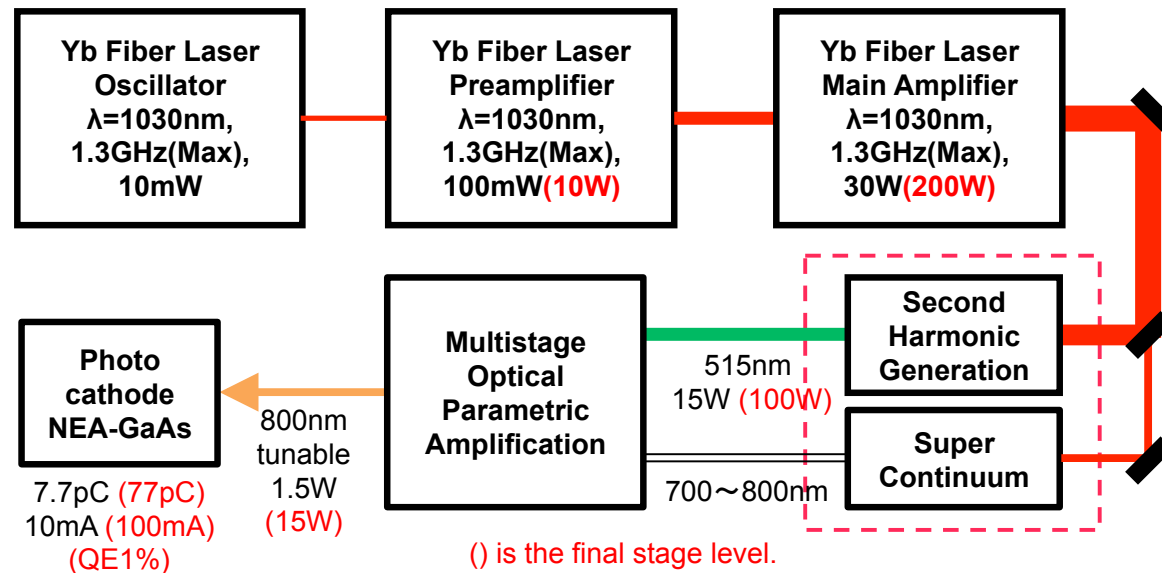


自己相関波形

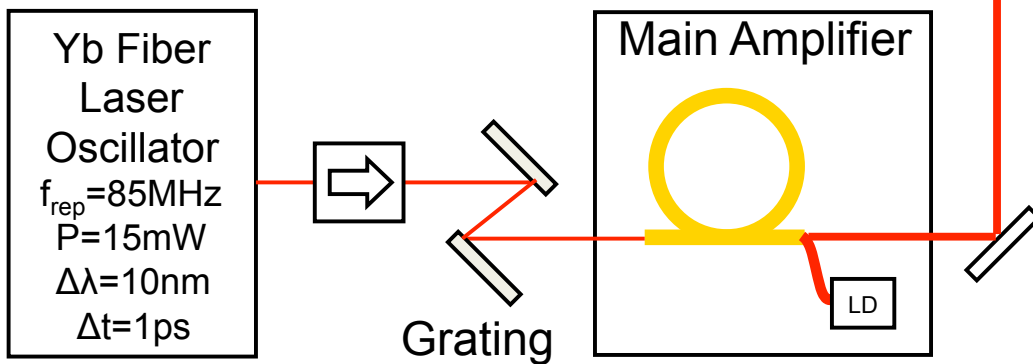
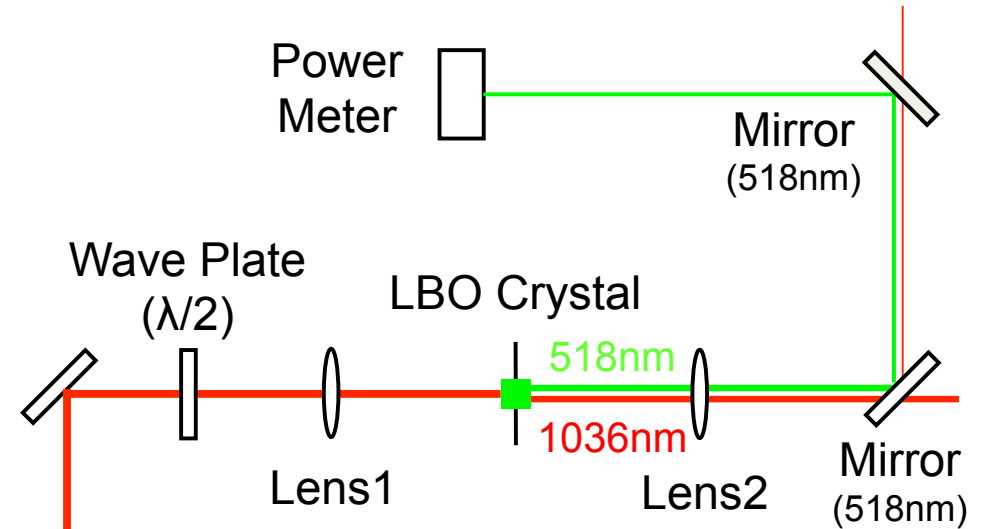
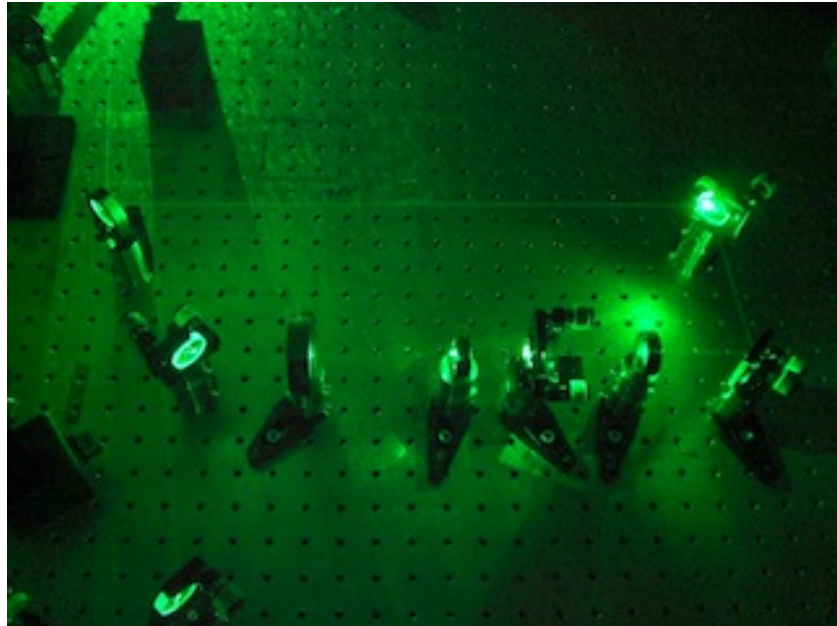


増幅に伴うバンド幅・パルス幅の増大がほとんどない。
⇒自己位相変調の影響を受けずにパルス光を増幅できた。

波長変換システム



第二高調波発生



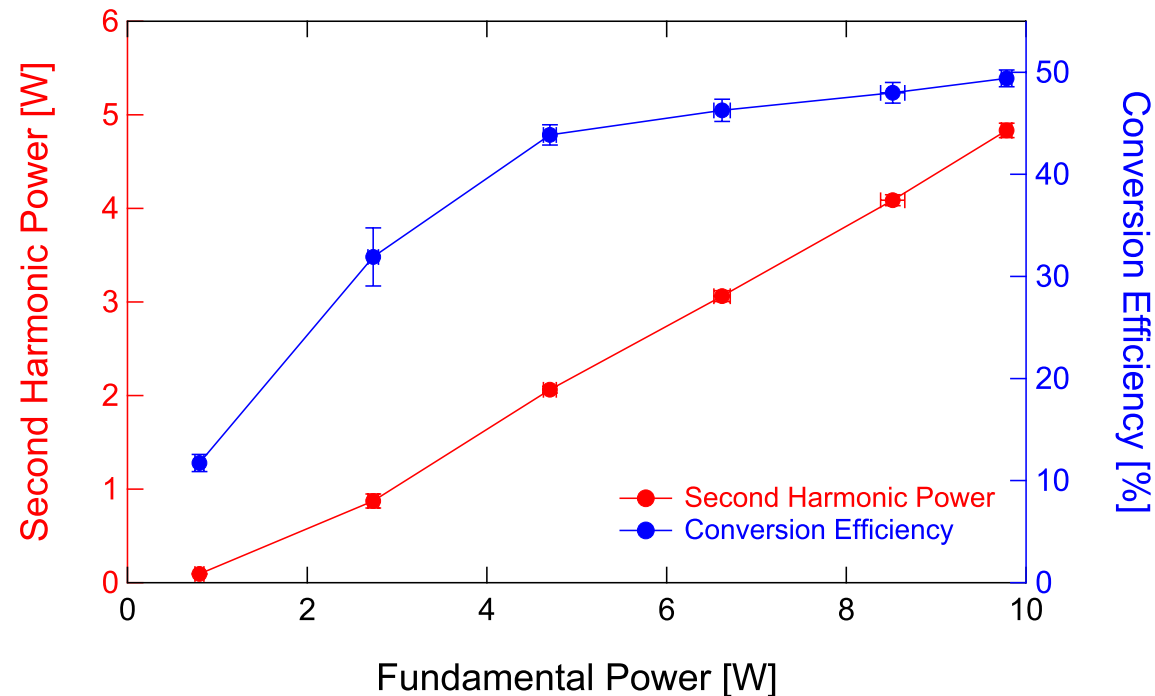
実機のシミュレーション実験

実機: $200\text{W}/1.3\text{GHz}=150\text{nJ/pulse}$

開発機: $13\text{W}/85\text{MHz}=150\text{nJ/pulse}$

第二高調波への変換効率

LBO結晶に基本光($\lambda=1030\text{nm}$, $f_{\text{rep}}=85\text{MHz}$, $\Delta t=1\text{ps}$, $\Delta\lambda=10\text{nm}$)を1~10W入射して、第二高調波を発生。

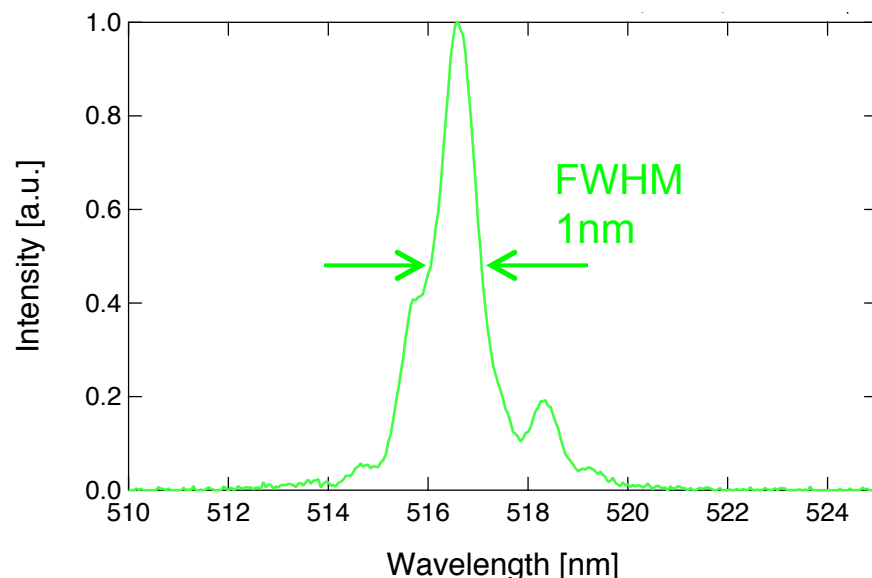


9.8Wの基本光をLBO結晶に入射したときに発生する第二高調波は4.8Wであり、変換効率は49%まで達した。

第二高調波発生の特性評価

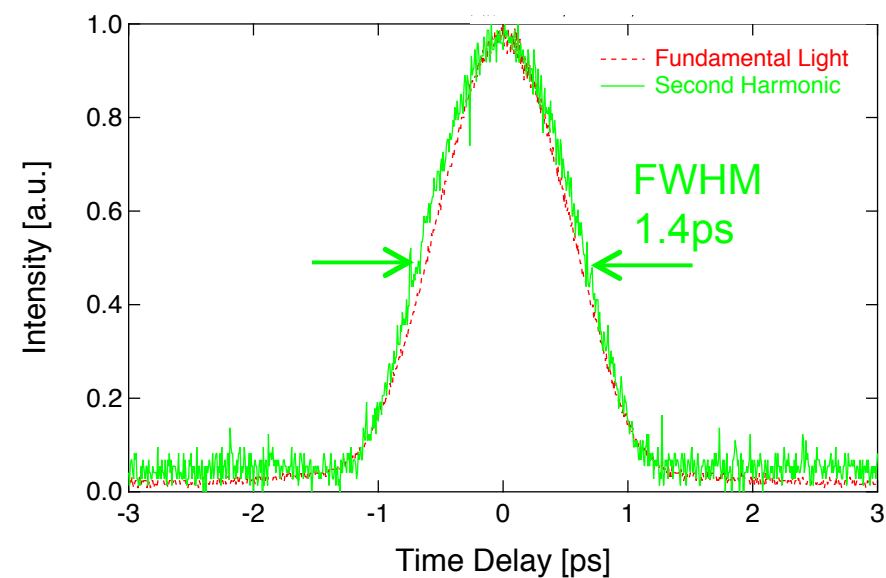
4.8Wの第二高調波の光スペクトルと自己相関波形。

光スペクトル



中心波長: 516.5nm
バンド幅: 1nm

自己相関波形



パルス幅: 1ps

スーパーコンティニューム

●スーパーコンティニューム(SC: Super continuum)光は連続で広帯域なレーザー光であり、超短パルス光を非線形光学材料に入射した際、自己位相変調、相互位相変調、四光波混合、ラマン散乱等の非線形光学効果によって生成される。

●従来の白熱灯などの白色光源と比較すると、指向性・可干渉性・集束性・エネルギー密度・輝度などレーザーの特徴を有している。

●1970年: R.R.Alfano*らによってSC光の発生が発見され、それ以降も気体、固体、液体を用いてSC光発生が確認された。

*R. R. Alfano and S. L. Shapiro, "Emission in the Region 4000 to 7000 Å Via Four-Photon Coupling in Glass", Phys. Rev. Lett. 24, 584-587 (1970)

●現在は、非線形材料として高非線形フォトニック結晶ファイバーが用いられ、1オクターブ以上の広帯域性を有するSC光も生成されている。

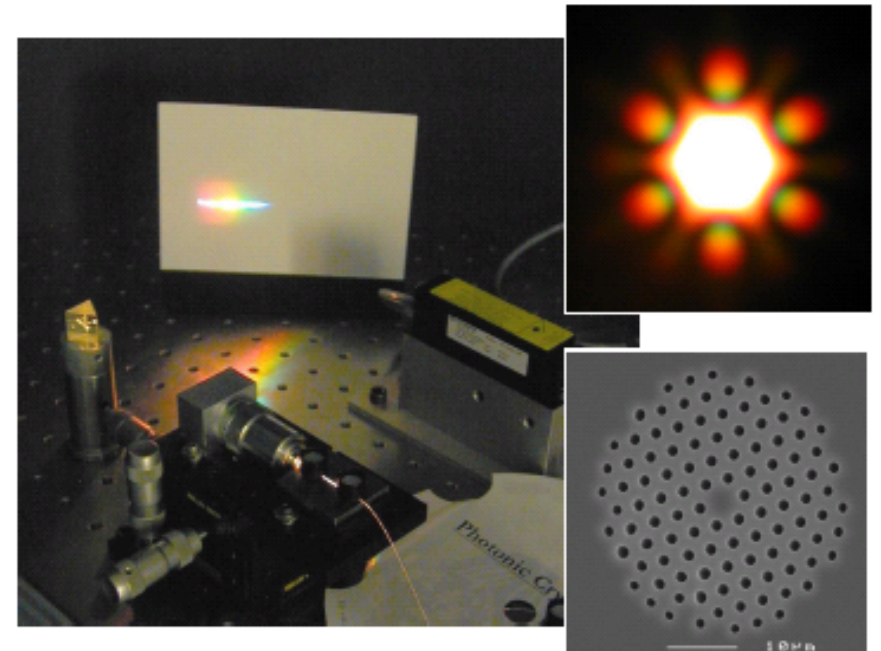
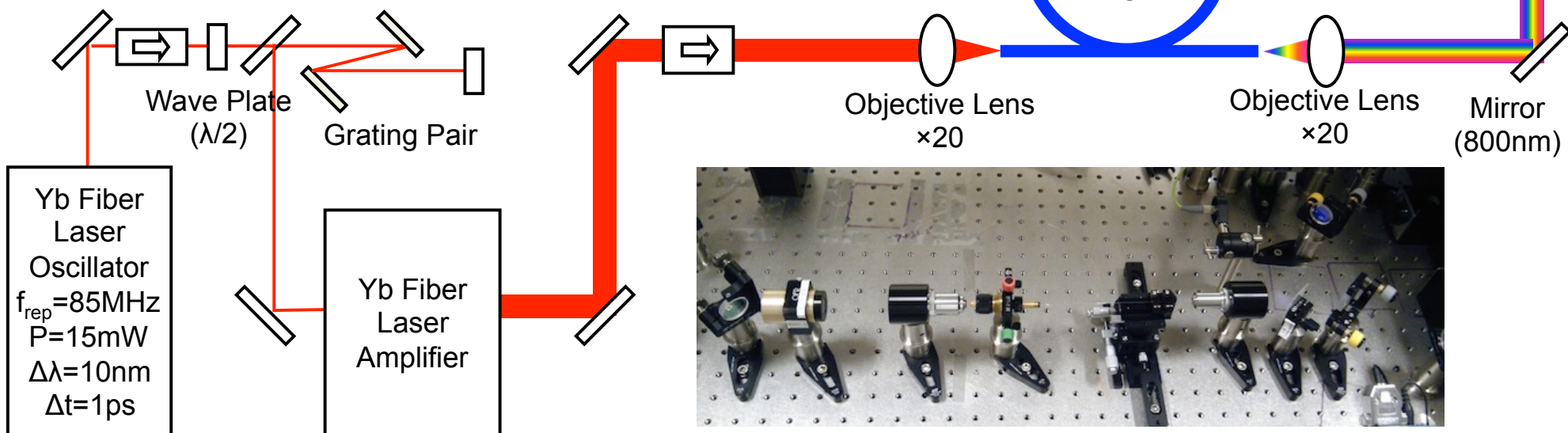
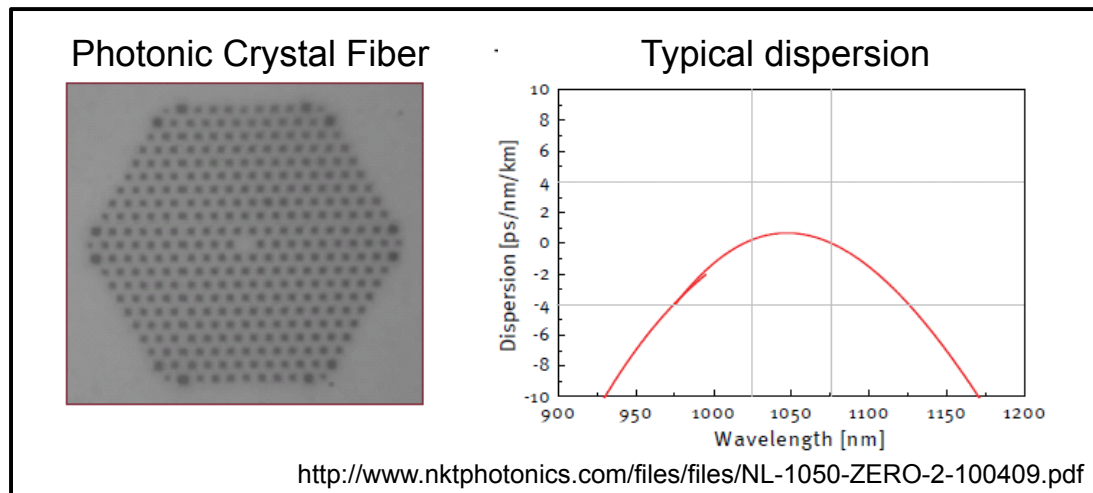


Fig. 1: Supercontinuum radiation viewed with a dispersing prism. Top right: Far field at the output of the photonic crystal fiber. Bottom right: Scanning Electron Micrograph

http://www.thorlabs.com/images/TabImages/Application_note_-_Supercontinuum%20-%20SC-5.0-1040.pdf

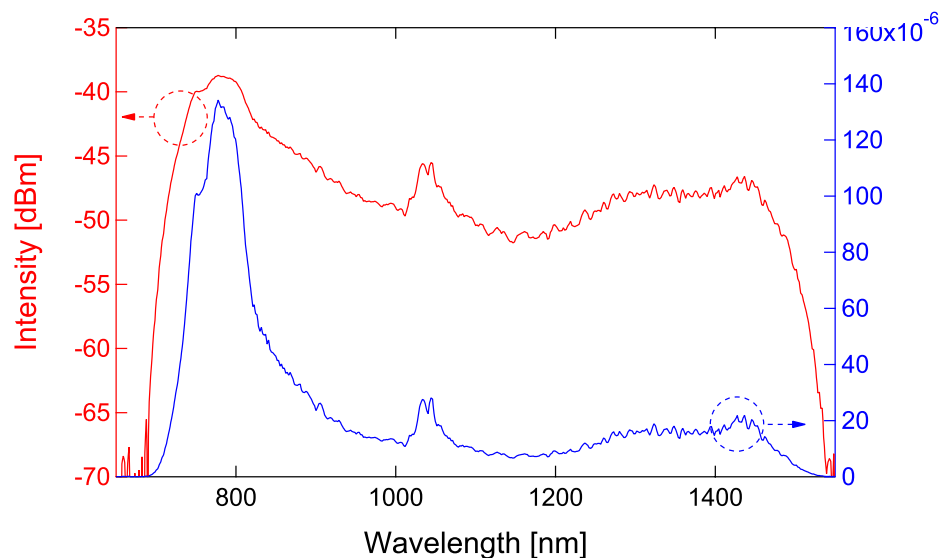
スーパーコンティニューム



SC光のスペクトル

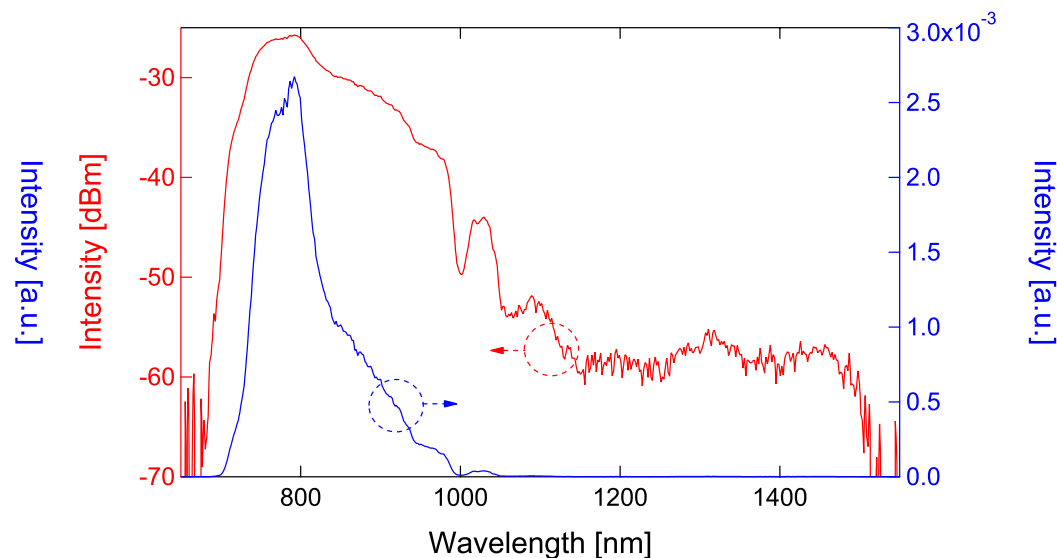
高非線形PCFに基本光($\lambda=1030\text{nm}$, $f_{\text{rep}}=85\text{MHz}$, $\Delta t=1\text{ps}$, $\Delta\lambda=10\text{nm}$)を2W入射し、SC光を発生させた。

Optical Spectrum
SC Full Span



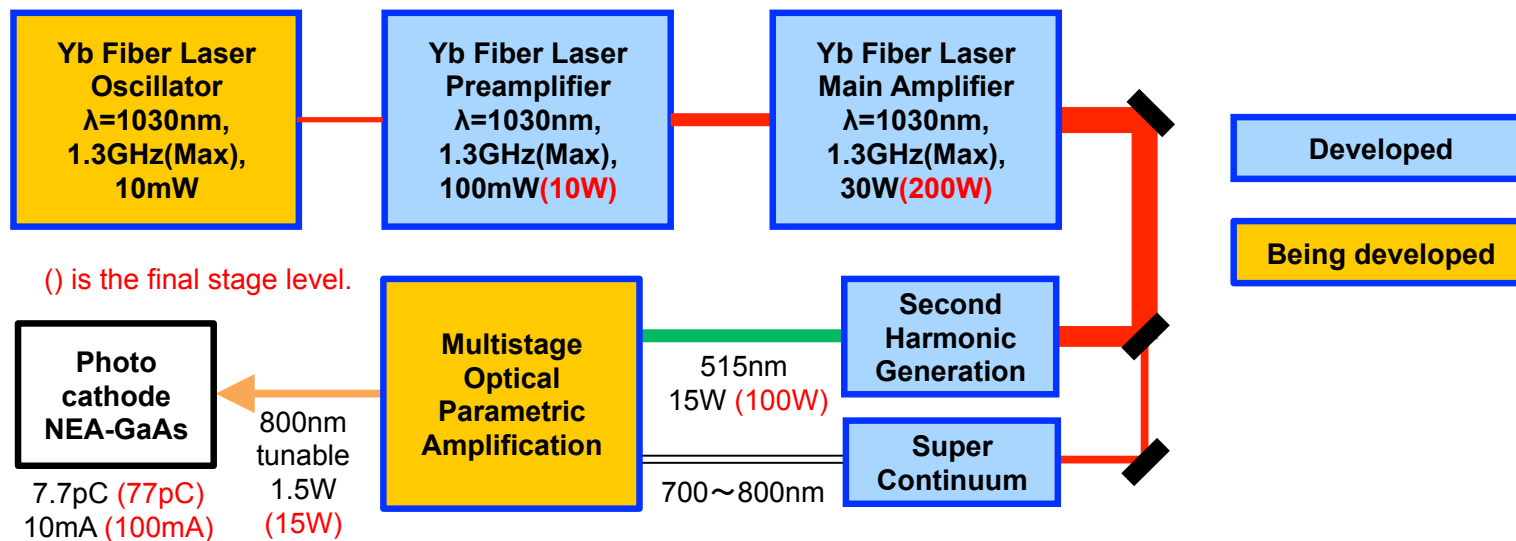
SC光369mW出力
(入射効率18.5%)

Optical Spectrum
SC 800nm



800nm帯は186mW
(変換効率9.3%)

まとめと今後の課題



		現状	第一目標	最終目標
レーザー発振器	繰り返し	421MHz	1.3GHz	1.3GHz
レーザー増幅器	平均出力	31W	30W	200W
第二高調波発生	変換効率	49% (4.8W)	50% (15W)	50%(100W)
スーパーコンティニューム	帯域	800±40nm	700nm~800nm	700nm~800nm
光パラメトリック増幅	平均出力	未	1.5W	15W